

УДК 621.317.3

А. Ю. ЧЕРНУХИН, мл. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НИПКИ «Молния»
НТУ «ХПИ»;
П. Н. МЕЛЬНИКОВ, науч. сотр. НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА С МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ

Проведены измерения параметров силы тока коронного разряда со стержня при различных скоростях изменения напряженности электрического поля. Доказано идентичность процессов при спадании и нарастании напряженности электрического поля для скорости изменения не более $10^5 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$. Результаты могут быть использованы при оценке эффективности молниеприемников.

Ключевые слова: молниеприемник, ток короны, электрическое поле, стример.

Введение

Известно [1, 2], что процесс ориентировки нисходящей молнии, имеющей отрицательный потенциал, связан с условиями формирования встречного лидера с заземленных объектов. Это обстоятельство обусловлено тем, что отрицательные молнии фактически перехватываются встречными лидерами, восходящими от заземленных объектов. Для экспериментального исследования этого процесса требуется высоковольтный стенд, способный осуществлять пробой воздушного промежутка длиной более 10 м. Разрядное напряжение генератора импульсных напряжений (ГИН) для этого должно быть не менее 3,5 МВ. Эксплуатация таких стендов связана со значительными финансовыми затратами. Поэтому, целесообразно, основные подходы и идеи отрабатывать на стендах с разрядным напряжением до 1,2 МВ, которые способны сформировать начальную стадию процесса пробоя длинного воздушного промежутка – стримеры. В работах [3, 4] представлены результаты экспериментальных исследований токов короны со стержневых молниеприемников различных геометрических форм и размеров. Обосновано использование в качестве эталонного стального стержня квадратного сечения размером 12х12 мм. В работе [5] предложен метод исследования параметров силы тока коронного разряда с молниеприемников в условиях электрического поля, изменяющегося (уменьшающегося) во времени по экспоненциальному закону. Авторы выдвинули гипотезу об обратимости процесса, что процесс протекания коронного разряда в случае повышения напряжения по аналогичному закону (если рассматривать осциллограмму справа -налево), будет идентичным. В процессе обсуждения результатов этих работ на Всеукраинской конференции ПАСЕБ-2012 и международной научно-практической конференции MicroCAD-2013 была сформулирована указанная далее задача.

Цель исследований

Определить зависимость параметров силы тока коронного разряда от знака производной функции изменения во времени уровня напряженности электрического поля.

Метод и результаты исследования

Исследования проведены на стержневом эталоне молниеприемнике, размещавшихся между двумя параллельными металлическими плоскостями. Размеры плоскостей: нижняя – 4,02 х 6,56 м, верхняя – 3,63 х 5,22 м. Схема испытательной установки для исследования характеристик тока короны при постоянном и изменяющемся напряжении приведена в работе [5]. В этом варианте нижняя плоскость заземлена. Верхняя плоскость потенциальная – на нее подавалось высокое напряжение (ВН) от повысительно-выпрямительного устройства ПВУ-200. Расстояние (Н) между плоскостями варьировалось в диапазоне от 1,4 до 3,5 м, что позволяло изменять значение напряженности электрического поля. Соответственно, менялось расстояние (S) между вершиной молниеприемника и верхней плоскостью. Стержень устанавливался на нижней заземленной плоскости на изоляционной подставке и был присоединен к плоскости через сопротивление шунта ($R_{ш} = 50 \text{ Ом}$), как показано на рис. 1.

Временная зависимость формировалась следующим образом: на верхнюю плоскость подавался постепенно повышающийся потенциал отрицательной полярности до значения 180 кВ, выдерживался некоторое время (около минуты), достаточное для регистрации силы тока установившейся короны, после чего, производилось отключение ПВУ-200. Далее, происходил разряд в RC цепи по классическому закону спада напряжения на конденсаторе, а, следовательно, и на исследуемом промежутке. На рисунке 2 представлены осциллограммы этого процесса для расстояния S равного 0,4 м. На осциллограмме кривая 1 описывает силу тока короны, а кривая 2 – значение напряжения на формирующей емкости. Скорость самостоятельного разряда емкостей ПВУ является индивидуальной особенностью данной установки. Важным является то, что этот процесс высокостабильный при проводимых экспериментах. Коэффициент деления примененного делителя равен 10^4 . Соответственно, чувствительность схемы измерения напряжения 50 кВ/дел. Чувствительность схемы измерения силы тока короны 80 мА/дел.

Доказательство независимости параметров процесса образования коронного разряда от знака производной кривой временной зависимости напряженности электрического поля, т.е. нарастания и спада, строится на сравнении значений силы тока коронного разряда на левой и правой ветвях рис. 2 при одинаковых значениях напряженности электрического поля.

Результаты обработки осциллограмм представлены на рис.3, отображающем зависимость усредненного значения силы тока коронного разряда от напряженности электрического поля при росте с постоянной скоростью (кривая 1) и спадании по экспоненте (кривая 2).

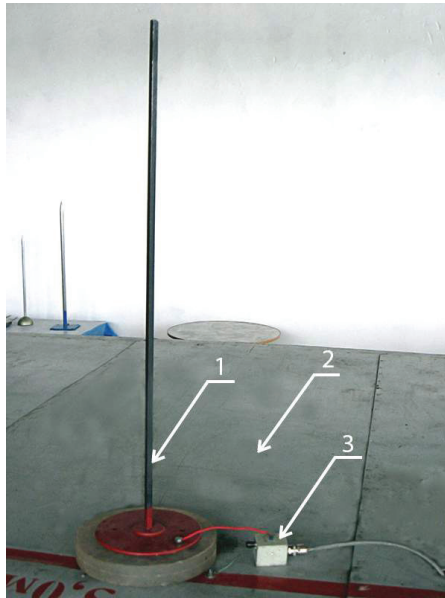


Рисунок 1 – Молниеприемник с подключенным шунтом:
1 – молниеприемник; 2 – нижняя плоскость; 3 – шунт 50 Ом

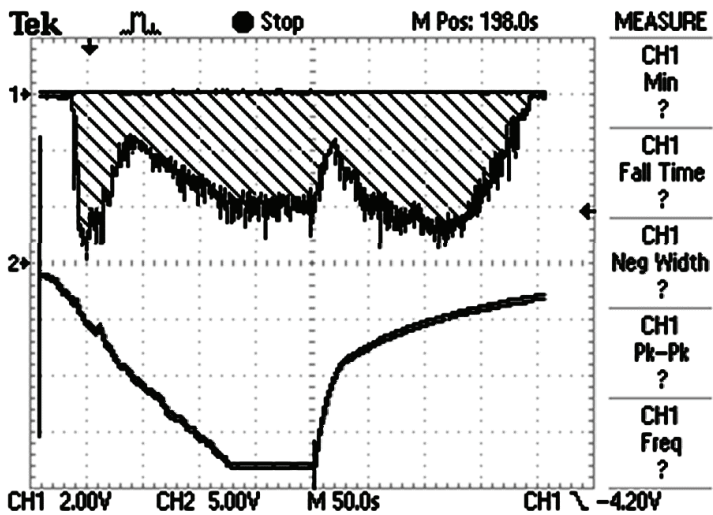


Рисунок 2 – Осциллограммы процесса для S равного 0,4 м
(CH1 – 40 мА/дел; CH2 – 50 кВ/дел)

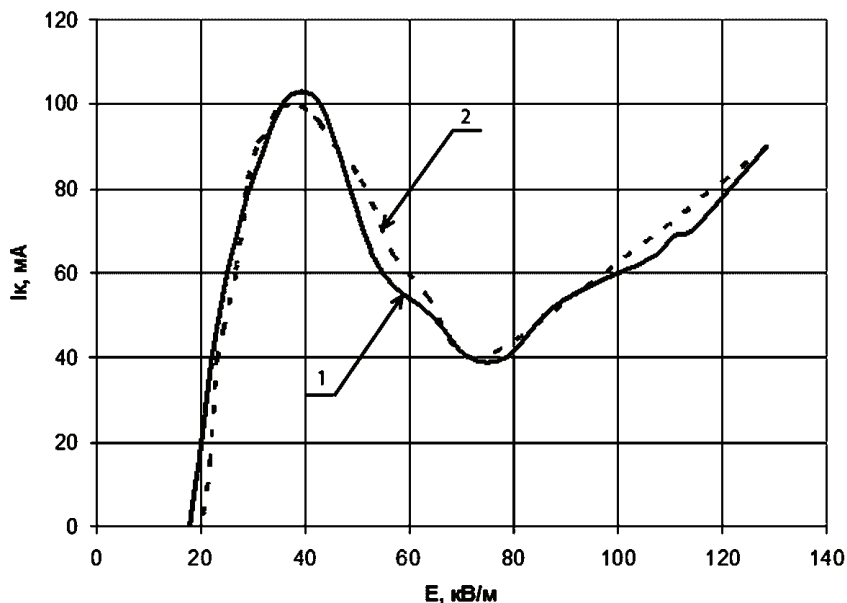


Рисунок 3 – Зависимость усредненного значения силы тока коронного разряда от напряженности электрического поля: кривая 1 – сплошная линия – для нарастающей напряженности E -поля; кривая 2 – пунктирная линия – для спадающей напряженности E -поля)

Кривые 1 и 2 зависимости силы тока коронного разряда от напряженности электрического поля совпадают в пределах погрешности проведенных измерений (7 %). В представленных результатах значение напряженности электрического поля рассчитано как частное от деления потенциала верхней пластины на расстояние $H = 1,4$ м между пластинами. Сравнение кривых на рис. 3 показывает, что значение силы тока коронного разряда определяется значением напряженности электрического поля, и не зависит от предыдущей истории процесса. Сохраняется наличие «провала» в интервале между 60 кВ/м и 80 кВ/м. Следовательно, процесс образования тока короны в данном временном диапазоне (скорость изменения не более $10^5 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$) можно считать квазистатическим.

Результаты получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы (ГР №0212U005986), которая выполняется по заказу Министерства образования и науки Украины в 2013-2014 годах.

Выводы

Экспериментально доказано, что значение силы тока коронного разряда определяется значением напряженности электрического поля, и не зависит от предыдущей истории процесса при условии, что скорость изменения напря-

женности электрического поля не более $10^5 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Подтверждена гипотеза, высказанная в работе [5].

Предполагается, что диапазон квазистатического развития процесса справедлив для более широкого диапазона скорости изменения напряженности электрического поля. Например, для длительностей фронта превышающих 200 мкс, что при подаче импульсной волны соответствует предельной скорости нарастания напряженности электрического поля $2 \cdot 10^8 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Указанные предельные значения согласуются с аналогичными параметрами, регламентируемыми в стандарте NF C 17-102 [6].

Список литературы: 1. Cooray V. Lightning Protection / Edited by V. Cooray // The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom. – 2010. – 1070 p. 2. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты. / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 320с. 3. Розробка методу оцінки захисних властивостей новітніх видів пристроїв блискавкозахисту – активних блискавкоприймачів та розсіювачів / Звіт про НДР Інв.0212U008336. – ХПІ, Харків, 2012. – 234 с. 4. Князев В.В. Характеристики стримерной короны при постоянном напряжении на молниеприемниках с различными формами вершин и поперечных сечений / В.В. Князев, П.Н. Мельников, А.Ю. Чернухин // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2012. – Вып. 21. – С. 111-117. 5. Чернухин А.Ю. Корреляция силы тока коронного разряда стержневого молниеприемника и напряженности изменяющегося электрического поля / А.Ю. Чернухин, В.В. Князев, П.Н. Мельников // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2013. – Вып. 27. – С.155-162. 6. NF C 17-102: 2011. Lightning protection. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals.

Поступила в редколлегию 20.09.2013

УДК 621.317.3

Квазистатическое развитие коронного разряда с молниеприемников / А. Ю. Чернухин, В. В. Князев, П. Н. Мельников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 60 (1033). – С. 122-127. – Бібліогр.: 6 назв.

Здійснено вимірювання параметрів сили струму коронного розряду зі стрижня за різноманітних швидкостях зміни напруженості електричного поля. Доведено ідентичність процесів за спадання та зростання напруженості електричного поля за умов що швидкість зміни не перевищує $10^5 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Результати можуть бути використано при оцінці ефективності блискавкоприймачів.

Ключові слова: блискавкоприймач, струм корони, електричне поле, стример.

Measuring of the corona current parameters is carried out from a terminal after different rate-of-change of tension of electric-field. The identity of processes is well-proven for a slump and increase of tension of electric-field at terms that speed of change of not more than $10^5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Results can be used for the estimation of efficiency of terminals.

Keywords: terminal, current of crown, electric field, streamer.